

VIRTUELLE REALITÄT IM DIGITALEN DESIGNPROZESS VON FLUGZEUGKABINENSYSTEMEN

M. Fuchs*, F. Beckert*, M. Gopani*, A. Gindorf*, B. Nagel*

* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung

Die fortschreitende Digitalisierung in der Entwicklungsphase von Systemen führt zu immer kürzeren Entwicklungszeiten und geringeren Kosten. Dafür werden die Anforderungen und Regeln an die jeweiligen Systeme sowie das Expertenwissen für die Designauslegung gesammelt und formalisiert. Das entstandene digitalisierte Wissen anschließend miteinander zu verbinden und in Abhängigkeit zueinander zu setzen stellt dabei die Herausforderung dar. Hierbei kommen unterschiedliche Methoden und Modellierungssprachen des interdisziplinären Ansatzes des Systems Engineerings (SE) zum Einsatz. Dadurch wird das formalisierte Expertenwissen verschiedener Disziplinen zueinander in Beziehung gesetzt und die generierte Wissensdatenbank ermöglicht eine automatisierte Anordnung der Kabinensysteme.

Zur Visualisierung der Ergebnisse werden diese anschließend in der Virtuellen Realität (VR) dargestellt. Diese Technologie ermöglicht verschiedene neue Kabinendesigns kostengünstig zu iterieren, zu bewerten und zu optimieren, bevor die Konzepte in einem echten Prototyp validiert werden. Zudem können durch einen VR-Aufbau die Kommunikation zwischen den Forschungspartnern verbessert werden und alle Beobachter direkt am Bewertungs- und Optimierungsprozess teilnehmen. Das angewandte Vorgehen sowie die verwendeten Methoden werden in diesem Paper vorgestellt.

Keywords

Luftfahrt; Flugzeugkabine; Virtuelle Realität; Digitaler Vorentwurf; Wissensmanagement

1. EINLEITUNG

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erforscht verschiedene Ansätze und Methoden zur digitalen Auslegung von Flugzeugkabinen. Das Ziel ist dabei neue Technologien schneller zu integrieren, zu vergleichen und die Zusammenhänge innerhalb der Kabine bzw. die Systemarchitektur besser zu verstehen. Ein Werkzeug, das im Laufe der letzten Jahre immer mehr an Einfluss im Entwurfsprozess gewinnt, ist die Virtuelle Realität (VR) [1]. In der Industrie wird diese Technologie z.B. für das virtuelle Training oder die Präsentation von Prototypen für den Kunden genutzt. Im Gegensatz zum gängigen Nutzen der VR am Ende eines Entwicklungszyklus wird diese am DLR bereits im Vorentwurf eingesetzt, um das Potenzial des Wissenserwerbs in immersiven Umgebungen möglichst früh im Entwicklungsstadium zu nutzen.

Am Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt werden daher zahlreiche Aktivitäten in Verbindung mit der Virtuellen Realität durchgeführt, um damit einen Baustein zur Gesamtvision der Digitalisierungsinitiative des DLR beizutragen [2]. Die Digitalisierung der Luftfahrt umfasst dabei das gesamte Lufttransportsystem, von der Produktentwicklung bis zur Herstellung und Wartung [2]. Ein Fokus liegt dabei auf dem Gebiet des virtuellen Testens neuer Kabinensystemde-

signs. Durch die Komplexität des Gesamtsystems Kabine sind Abhängigkeiten sowie Anforderungen, die zu einer Platzierung einer Kabinenkomponente geführt haben nicht direkt erkennbar. Hierbei ermöglicht eine digitale Kabine die Rückverfolgung von Anforderungen und das Testen der Designs auf Plausibilität. Mit Hilfe von Steuergeräten (Controllern) interagiert der Nutzer mit der virtuellen Umgebung und hat die Möglichkeit, die Flugzeugkabine mitsamt seinen Systemen realitätsnah zu erleben. Das direkte emotionale Feedback des Nutzers im frühen Entwurfsstadium sowie die schnellere Umsetzung von Designänderungen ermöglichen gegenüber einem realen Mock-Up eine erhebliche Flexibilität, Zeitersparnis und Kostenreduktion. In diesem Forschungsbericht wird das Vorgehen für den digitalen Designprozess und die Integration von VR für die Auslegung von Flugzeugkabinensystemen vorgestellt.

2. GRUNDLAGEN KABINENSYSTEMDESIGN

Bei der Auslegung von Kabinensystemen kommt es aufgrund der vielen verschiedenen System- und Systemuntergruppen zu Wechselwirkungen, die aufgrund der Gesamtsystemkomplexität nicht immer direkt erkennbar sind. Damit diese herausgearbeitet und verständlich gemacht werden können, muss zu-

erst die Einteilung der Kabinensysteme definiert und die relevanten Sicherheitsanforderungen gesammelt werden.

2.1. ATA-Einteilung der Kabinensysteme

Für den essenziellen und ökonomischen Betrieb einer Flugzeugkabine werden verschiedene Systeme benötigt. Diese können wiederum in viele Untergruppen aufgeteilt werden, bei denen es zu Überschneidungen in der Zugehörigkeit kommt. Zudem sind die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten untereinander sowie in Bezug auf den Passagier für den Auslegungsprozess entscheidend. Einige Systeme erfordern z.B. die barrierefreie Nutzung durch den Passagier oder müssen im Notfall direkt erreichbar sein. Für eine klare Trennung im Auslegungsprozess wird daher eine Einteilung nach ATA-Kapiteln¹ vorgenommen. Dies ermöglicht ein einheitliches Arbeiten und eine einfache Identifizierung der entsprechenden Bauteile und Systeme.

Insgesamt können sechs große Gruppen für die Kabine identifiziert werden. Diese sind die Systeme für Klimatisierung, Kommunikation, elektr. Versorgung, Beleuchtung, Sauerstoffversorgung und Wasser/ Abwasser. Der folgende Ausschnitt in Bild 1 zeigt die Einteilung nach ATA-Kapiteln sowie jeweilig einige Subsysteme mit Schnittstellen zum Passagier [3].

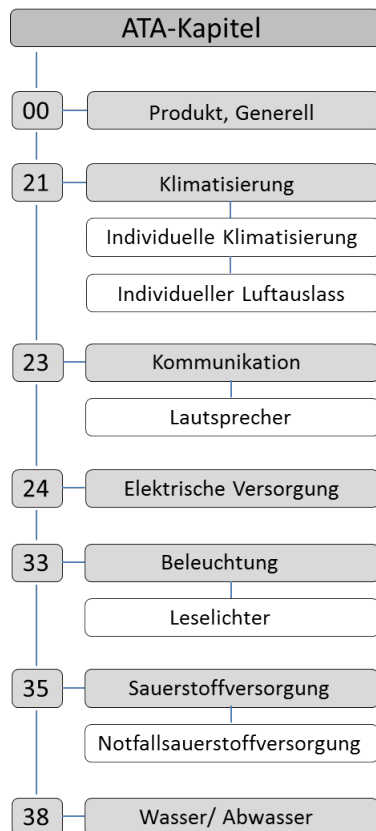


BILD 1. Unterteilung der ATA-Kapitel

¹ATA: Air Transport Association

Mit Hilfe dieser Einteilung werden die Beziehungen der Bauteile zueinander ermittelt und aus den bauteil-spezifischen Eigenschaften werden die Anforderungen an die Platzierung der jeweiligen Komponenten abgeleitet. Diese werden dann für den Auslegungsalgorithmus als Funktion hinterlegt.

2.2. Sicherheitsanforderungen an Kabinensysteme

Ein wichtiger Aspekt bei der Auslegung von Kabinensystemen sind die Sicherheitsanforderungen. Diese sind in der von der EASA² herausgegebenen Bauvorschrift CS-25 für die Bauartzulassung von Großflugzeugen (engl.: Certification Specifications for Large Aeroplanes) zusammengefasst [4]. Die hier festgelegten Mindestanforderungen müssen für die Zulassung eines Flugzeugs dieser Klasse erfüllt sein. Daher werden die Sicherheitsanforderungen bei der Auslegung der Systeme berücksichtigt und anschließend mit einer entwickelten Prüfmethode auf deren Einhaltung untersucht. Beispielhaft sind hier die Einhaltung von Freiflächen vor den Notausgängen (CS §25.810 (c)1) oder die Erreichbarkeit von Sauerstoffmasken für jeden sitzenden Passagier (CS §25.1447 (c)1) zu nennen [4]. Ein entwickeltes Anforderungstestprotokoll wird dann visuell die Einhaltung von Sicherheitsaspekten mitteilen. Generell ist jedoch die Anzahl der quantitativen Anforderungen an die Kabinensysteme im Vergleich zu den strukturellen Systemen eher gering. Anforderungen wie z.B. an die Feuerfestigkeit oder das Einhalten von Knickradien werden in dieser Arbeit vorerst nicht berücksichtigt.

3. ANBINDUNG AN DIE VIRTUELLE REALITÄT

Die gesammelten Informationen aus dem Kapitel 2 werden im nächsten Schritt formalisiert und in einer digitalen Wissensdatenbank für die automatisierte Auslegung der Kabine zusammengetragen. Im folgenden Abschnitt wird die entwickelte Methodik zur Auslegung der Kabinensysteme und der anschließenden Übertragung in die virtuelle Realität vorgestellt und anschließend beispielhaft anhand eines Teilsystems verdeutlicht.

3.1. Auslegungsprozess und VR-Anbindung

Der Prozess von der Auslegung der Kabinensysteme bis zur Darstellung und Interaktion mit den 3D Modellen in der virtuellen Realität ist in Bild 2 dargestellt. Zuerst wird mit Hilfe eines Auslegungsalgorithmus in Matlab das Kabinenlayout einschließlich der Systeme erzeugt. Für die Darstellung der Kabinenkomponenten werden einfache geometrische Formen verwendet. Die Entwurfsregeln zur Platzierung der einzelnen Systemkomponenten leiten sich aus den in Kapitel 2 genannten Wechselwirkungen und Sicherheitsanforderungen ab. Dabei variiert das Layout der Kabine mit den existierenden bzw. gewählten Anforderungen.

²EASA: European Union Aviation Safety Agency

Es wird entweder eine bereits vorgegebene, externe Flugzeuggeometrie eingelesen oder das Kabinenlayout durch selbst gewählte Parameter und Anforderungen bestimmt. Eine externe Anbindung kann z.B. aus dem Schema CPACS³ [5] erfolgen. Dieses beinhaltet eine parametrische Beschreibung von Flugzeugkonfigurationen und ermöglicht den Austausch von Informationen für das Lufttransportsystem. Die Platzierung und Auslegung der Systeme erfolgt jeweils auf Grundlage dieser Eingaben.

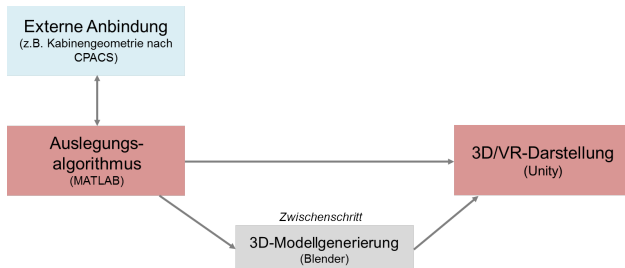


BILD 2. Schematischer Prozessablauf für die Kabinenauslegung und die Visualisierung in VR

Damit die Daten in der VR-Umgebung dargestellt werden können und keine Informationen verloren gehen, wird eine objektorientierte Struktur verwendet [6]. Diese bietet den Vorteil, jederzeit an jeder Stelle beliebig neue Klassen zu definieren oder Ergänzungen mit weniger Aufwand durchzuführen. Die erstellten Kabinenkomponenten werden als einzelne Objekte abgespeichert und über einen virtuellen Container verwaltet. In diesem sind alle Informationen einer Komponente, wie z.B. über die ATA-Zugehörigkeit oder Baumaße, als Attribute in dem Objekt abgelegt. Weitere Informationen wie Verbindungen zwischen den Komponenten werden ebenfalls in der Objektstruktur hinterlegt. Im nächsten Schritt werden dann diese Informationspakete exportiert und an die VR-Umgebung übergeben.

Parallel dazu erfolgt in einem Zwischenschritt die Übergabe der Informationen über die Baumaße und Positionen an die Grafiksoftware Blender für die realitätsnahe Modellierung der Komponenten. In dieser werden die simplen geometrischen Formen durch dreidimensionale und hochauflösende Objekte ersetzt. Anschließend wird die fertige Kabinenszene in die 3D-Umgebung von Unity importiert.

3.2. Auslegungsalgorithmus für das Kabinendesign

Für die Auslegung der Systeme und der Kabine wird eine objektorientierte Struktur verwendet. Dabei wird für jeden Kabinenkomponententyp eine Klasse erstellt. Mit dieser werden dann Objekte für die benötigten Kabinenbauteile instanziiert, in denen komponentenbezogene Informationen als Attribute (Eigenschaften) abgespeichert sind. Dazu gehören z.B. der Name, die Baumaße, die Position oder die

ATA-Zugehörigkeit des erzeugten Kabinenobjektes. Neben der Kabinenkomponentenklasse, gibt es noch eine weitere Klasse für Links (Beziehungen) und eine für Anforderungen (Sicherheitsanforderungen und Human Factors). In diesen werden ebenfalls spezifische Attribute hinterlegt.

Die Instanziierung eines Objektes erfolgt durch implementierte Regeln. In diesen sind Funktionen für die Platzierung der Kabinenkomponenten hinterlegt. Basierend auf geometrischen Bedingungen oder hinterlegten Abhängigkeiten wird eine Position in der Kabine gesucht. Entspricht diese den Anforderungen, werden die Positionsdaten übermittelt und ein Objekt mit den entsprechenden Informationen erzeugt. Die Werte für die Attribute stammen hierfür aus einer allgemeinen, in Matlab hinterlegten und vordefinierten Parameterliste. In dieser werden anfangs alle Werte zusammengetragen. Vor dem Durchlauf eines Entwurfs können diese durch den Nutzer leicht verändert und somit einzelne Komponenten in ihren Abmaßen angepasst werden. Dies ermöglicht einen schnellen Austausch zum Testen neuer Komponenten.

Alle erzeugten Objekte werden über einen virtuellen Container verwaltet. Dieser speichert die Identifikationsnummer (ID) der Objekte, mit denen eine genaue Zuordnung möglich ist. Dadurch kann gezielt auf bestimmte Objekte zugegriffen werden, wenn diese für die Platzierung von anderen Komponenten oder für einen Link benötigt werden. Neben der zentralen Verwaltung aller Kabinenobjekte werden ebenfalls die Linkobjekte und Anforderungsobjekte in einem separaten virtuellen Container gespeichert. Ein Linkobjekt wird immer dann erzeugt, wenn zwei Komponenten eine Beziehung zueinander haben. Die Art der Verbindung wird dabei ebenfalls als Attribut hinterlegt. Beispielhaft sind hier die mechanische Kopplung zweier Objekte oder eine elektrische Signalübertragung. Darüber hinaus existieren auch Verknüpfungen zwischen Anforderungsobjekten und Komponenten. Wird eine Anforderung bei der Auslegung eines Kabinenobjektes berücksichtigt, werden beide miteinander verlinkt. Somit ist der Grund für die Platzierung einzelner Komponenten später rückverfolgbar und die Beziehung darstellbar. Zudem kann diese Eigenschaft dazu genutzt werden, ein visuelles Anforderungstestprotokoll zu erstellen. Tritt der Fall ein, dass ein Sicherheitsaspekt bei der Auslegung nicht eingehalten werden kann, wird dies mitgeteilt. Die generierten virtuellen Container sind über eine Export-Funktion in ein XML⁴-Format überführbar, sodass die Daten in anderen Programmen weiter verarbeitet werden können.

Bild 3 zeigt beispielhaft eine Netzdarstellung aller Verbindungen zwischen den erzeugten Kabinenobjekten. Als Basis wurden Teilsysteme einer Airbus A320 Standardauslegung verwendet. Die Grafik wurde mit den Daten aus Matlab und der open source Softwareplattform Cytoscape [7] erstellt.

³CPACS: Common Parametric Aircraft Configuration Schema

⁴XML: Extensible Markup Language

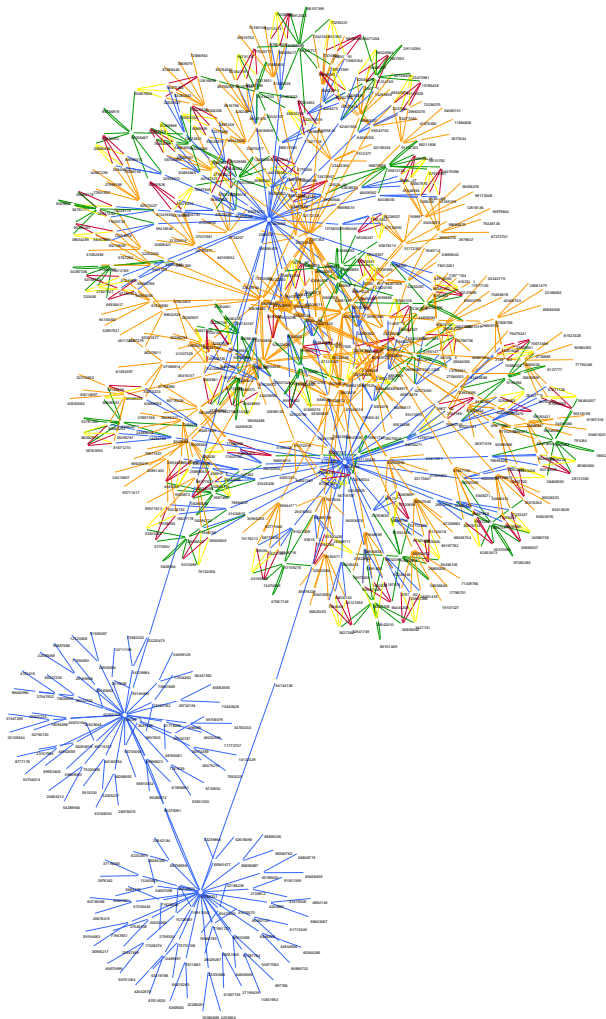


BILD 3. Netzdarstellung aller Kabinenkomponenten und den Verbindungstypen für eine Standardauslegung eines Airbus A320

Einzelne Kreise stellen die Kabinenkomponenten dar und sind durch die ID-Nummer identifizierbar. Die Linien zwischen zwei Kreisen beschreiben die Art der Verbindung zueinander. Dabei steht die Farbe Grün für eine mechanische Verbindung. Rot beschreibt eine elektrische und Orange eine digitale Verbindung. Für die Übertragung von Luft, wie bei dem Belüftungssystem, wird die Farbe Blau verwendet. Gelb wiederum steht für eine Sauerstoffverbindung, wie sie z.B. zwischen einem Sitz und den Sauerstoffmasken besteht.

Anhand der Abbildung ist die Komplexität des Gesamtsystems der Kabine und dessen Systeme aufgrund der vielen Abhängigkeiten untereinander deutlich zu erkennen. Die Anbindung an Unity und Übermittlung der komplexen Zusammenhänge mittels einer generierten XML-Datei wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

3.3. Modellierung der Unity-Umgebung

Für die Darstellung der Kabine und dessen Systeme in der Virtuellen Realität wird Unity, eine Laufzeit-

und Entwicklungsumgebung für Computerspiele, verwendet. Diese bietet viele Möglichkeiten für die Interaktion mit den Kabinenobjekten. So können Animationen, Materialien oder physikalische Eigenschaften den Objekten zugeordnet werden und erhöhen damit die Intensität der Immersion für eine Flugzeugkabinenszene [8].

Für die virtuelle Kabinenumgebung wird zuerst eine Standardszene aufgebaut. In dieser sind die Beleuchtung der Szene sowie ein Skript für den Import hinterlegt, mit dem zum einen die in Matlab erzeugte XML-Datei und zum anderen die in Blender erstellte CAD-Datei importiert werden. Eine Interaktion zwischen Nutzer und der virtuellen Kabine wird durch eine weitere Skriptkomponente ermöglicht. In dieser sind die Funktionsabläufe für die Nutzung der Controller definiert sowie Abläufe für die Bewegung oder die Kameraeinstellung. Bewegt sich der Nutzer in der virtuellen Umgebung und zeigt mit einem Pointer auf ein Kabinenobjekt, kann er mit diesem interagieren. So werden entweder die Informationen des Objektes angezeigt (Name, Baumaße, ATA-Kapitel) oder Verbindungen zu den anderen Objekten visualisiert. Dabei greift das Skript auf die hinterlegte XML-Datei zurück und sucht die passenden Links über die Objekt-ID heraus. Sobald eine übereinstimmende ID in einem Linkobjekt gefunden wurde, werden weitere verknüpfte Kabinenobjekte des Links farblich markiert. Bei der Darstellung von Abhängigkeiten einer Systemkomponente können somit alle verlinkten Systeme hervorgehoben und farblich sichtbar gemacht werden. Anschließend erzeugt eine Exportfunktion aus der Kabinenszene eine ausführbare Anwendung. Als Ausgabemedium wird die HTC Vive Pro Eye Serie verwendet. Diese unterstützt mit ihren Dual-OLED-Displays und einer Auflösung von 2880x1600 Pixel die gewünschte Umsetzung der Anforderungen an Immersion und Wiedergabetreue der aufgebauten Szene [9]. Eine beispielhafte Anwendung wird im folgenden Abschnitt genauer beschrieben.

3.4. Beispiel: Belüftungssystem

Der gesamte Ablauf von der Auslegung eines Systems bis hin zur Interaktion mit der Kabine in VR wird im folgenden Abschnitt anhand des Belüftungssystems gezeigt. Dieses bringt die nötige Komplexität eines runterskalierten Gesamtflugzeugsystems für eine Demonstration mit sich. Als Referenz wird eine Airbus A320 Kabine ausgelegt. Die Parameter werden direkt in Matlab festgelegt und nicht über eine externe Anbindung vorgegeben. Bild 4 zeigt die Systemauslegung mit einfachen geometrischen Formen. Dargestellt ist die Mischeinrichtung (Mixer Unit, 1), in der die Luft für die Kabine gemischt wird. Über die Zuluftleitungen (Supply Duct, 2) wird dann die Luft über die gesamte Kabinenlänge zur Verfügung gestellt. Angeschlossene Steigleitungen (Riser Duct, 3) bringen die Luft zu den Luftauslässen (Air Outlet, 4). Diese sind zum einen am Ende der

Seitenwände (Sidewall) und zum anderen oberhalb der Gepäckablagen angebracht, um eine zirkuläre Luftverteilung in der Kabine zu ermöglichen. Zusätzlich werden zwei individuelle Zuluftleitungen (5) über eine weitere Steigleitung (6) mit den Hauptzuluftleitungen verbunden. Dadurch hat der Passagier die Möglichkeit individuell eine zusätzliche Belüftung am Sitzplatz mit den Luftauslässen (7) zu bedienen. Zusätzlich sind für die ersten zwei Sitzreihen die Sitze und Gepäckablagen als orangene Blöcke dargestellt. Die einzelnen Linien zeigen die Links zwischen verbundenen Kabinenobjekten.

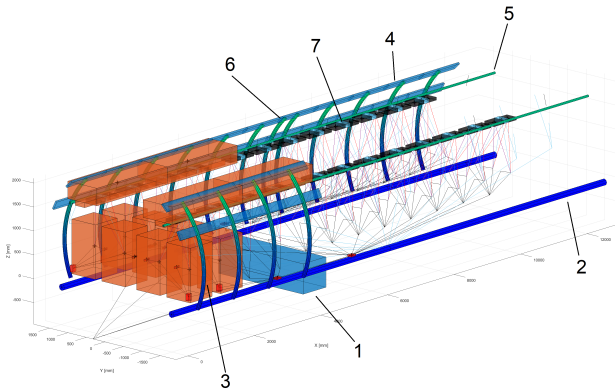


BILD 4. Basis-Darstellung des Belüftungssystems mit einfachen geometrischen Formen in Matlab für eine Airbus A320-Kabine

Das generierte Modell in Matlab wird dann in die Virtuelle Umgebung von Unity übertragen. Bild 5 zeigt die Sicht des Nutzers während der Kabinensimulation in VR. Der Nutzer hat die Möglichkeit mit den Steuergeräten die Kabine interaktiv zu erleben. In dem gezeigten Bild ist das Belüftungssystem farblich hervorgehoben und wird durch die transparente Kabine leichter sichtbar gemacht. Über das rechte Menü-Panel kann sich der Nutzer verschiedene Systeme anzeigen lassen. In dem linken Panel werden dann die hinterlegten Informationen angezeigt. Wie in diesem Beispiel können dann die Zugehörigkeit des Systems zu den ATA-Kapiteln und die angezeigten Subsysteme aufgelistet werden.

Neben der gesamten Systemkette, können auch die Basisinformationen einzelner Komponenten angezeigt werden. Bild 6 zeigt die Kabine im transparenten Modus während die Informationen über die Sitzreihe im oberen rechten Fenster angezeigt werden. Die abgespeicherten Daten aus der Auslegung in Matlab finden sich hier wieder. Dadurch bekommt der Nutzer einen direkten Überblick aller relevanten Informationen und kann diese anschließend direkt weiter verwenden.

Das Beispiel zeigt, dass die Anbindung des Auslegungsalgorithmus in Matlab an die Virtuelle Realität dem Nutzer die Möglichkeit gibt, die Zusammenhänge in der Kabine visuell schneller zu erfassen. Die Informationen jeder Kabinenkomponente sind direkt mit dieser verknüpft und können intuitiv abgerufen



BILD 5. Sicht des Nutzers in der Virtuellen Realität mit Detailansicht des Belüftungssystems

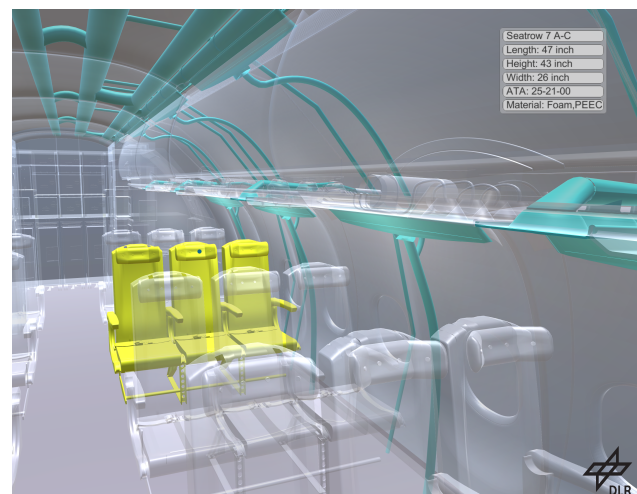


BILD 6. Anzeige der Informationen einer Sitzreihe in der Unity Umgebung

werden. Zudem werden die Komplexität der Systeme und die Abhängigkeiten über die Systemgrenzen hinaus deutlich (siehe Bild 3). Durch die Interaktion mit der digitalen Kabine wird das Verständnis über die Zusammenhänge der jeweiligen Systeme verbessert und kann leichter nachvollzogen werden.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Publikation beschrieb das Vorgehen für die methodische Auslegung von Flugzeugkabinensystemen und der anschließenden Datenübertragung in die virtuelle Realität. Das Vorgehen wurde beispielhaft an der Auslegung des Belüftungssystems eines Airbus A320 gezeigt. Insgesamt zeigt die entwickelte Methode viele Vorteile für den Vorentwurf auf und trägt zum Ziel einer digitalen Kabine bei. Durch die gewählte Datenstruktur werden alle benötigten Informationen vom Entwurfsprozess bis hin zur Visualisierung in der VR durchgängig übermittelt. Damit sind die Verbindungen und Abhängigkeiten der Systeme untereinander rückverfolgbar. Der Nutzer kann diese in der VR veranschaulichen und mit den Systemen interagieren. Zudem sind durch den

objektorientierten Ansatz bei der Programmierung schnelle und leichtere Änderungen sowie Erweiterungen von Regeln oder Systemabhängigkeiten möglich. Dieses einfache aber komplexe Beispiel des Belüftungssystems zeigt bereits die Abhängigkeiten der Komponenten über die Systemgrenzen hinaus, sodass ein hochskalieren auf das Gesamtsystem Flugzeug möglich ist.

Im nächsten Schritt wird die Auslegung der Kabinensysteme um zusätzliche Auslegungsfälle erweitert. Des Weiteren werden die Anbindung an externe Datenformate weiter ausgebaut und die Möglichkeiten in der virtuellen Umgebung verbessert. Dazu gehört zum Beispiel die Multi-User Funktionalität. Mit dieser können dann ortsunabhängig mehrere interdisziplinäre Expertenteams gleichzeitig an der konzeptionellen Entwicklung und Auswertung neuer Kabinendesigns teilnehmen und ihre Ideen direkt in der virtuellen Realität teilen.

Kontaktadresse:

maria.fuchs@dlr.de

Literatur

- [1] Handelsblatt. Augmented und Virtual Reality - Der Industrie fehlt der Blick auf das große Ganze. <https://www.handelsblatt.com/adv/smart-mobility/augmented-und-virtual-reality-der-industrie/-fehlt-der-blick-auf-das-grosse-ganze/24221544.html>. abgerufen 26.06.2020.
- [2] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Programm und Strategie: Luftfahrtforschung im DLR. <https://www.dlr.de/content/de/artikel/luftfahrt/luftfahrtforschung/programm-und-strategie-luftfahrtforschung-im-dlr.html>. abgerufen 20.08.2020.
- [3] Airbus. Aircraft Maintenance Manual (AMM) - A318, A319, A320, A321 - LFO - Revision number: 10, Wartungsdokumentation, May 2020.
- [4] Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25. Amendment 3, 2007.
- [5] CPACS. Common Language for Aircraft Design. www.cpacs.de. abgerufen 26.06.2020.
- [6] K. Mainzer. *Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 9783642584046.
- [7] Cytoscape. Network Data Integration, Analysis, and Visualization in a Box – Version 3.8.0. <https://cytoscape.org/>. abgerufen 10.07.2020.
- [8] Unity. Was Sie mit Unity erreichen können. <https://unity.com/de/our-company>. abgerufen 12.07.2020.
- [9] HTC VIVE. Produkt VIVE Pro Eye Übersicht. <https://www.vive.com/de/product/vive-pro-eye/overview/>. abgerufen 25.06.2020.